



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MITTAUSOHJELMA PUUTAVARAPERÄ- VAUNUN RUNGON RASITUSMITTAUKSIIN

Elina Haavisto

Opinnäytetyö
Joulukuu 2015

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

HAAVISTO, ELINA:

Mittausohjelma puutavaraperävaunun rungon rasitusmittauksiin

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Joulukuu 2015

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella sekä toteuttaa Jyky Oy:lle mittausohjelma puutavaraperävaunun runkorakenteeseen kohdistuvien jännitysten analysointiin. Työ on jatkoa vuosi sitten valmistuneelle opinnäytetyölle, jossa suoritettiin ohjelman toteuttamisen lisäksi myös itse mittaukset. Osittain ristiriitaisten mittaustulosten sekä datan tallentamiseen liittyvien ongelmien vuoksi mittaukset aiotaan tehdä myöhemmin uudestaan, ja näin ollen kehiteltiin parannettu mittausohjelmisto sekä erillinen html-pohjainen ohjelma tulosten analysointia varten.

Mittausohjelmisto rakennettiin Labview-ohjelmalla, ja siihen saatiin lisättyä ohjelman toimivuuden kannalta merkittäviä uusia ominaisuuksia. Selkeämmän tiedostorakenteen aikaansaamiseksi, sekä datan tallennukseen liittyvien häiriöiden minimoimiseksi mittaustulokset tallentuvat erillisiin aikaleiman sisältäviin kansioihin. Häiriöiden aiheuttamat virheet tallentuvat myös virhekoodeineen erillisiin kansioihin. Näin ollen jatkossa mahdollisesti syntyvät datan tallennukseen liittyvät ongelmat saadaan selvitettyä vaivattomasti. Mittausohjelma sisältää lisäksi Labview-ohjelman matematiikkaosioihin, jotta se olisi helposti sovellettavissa jokaiseen yksilöityyn mittaustapahtumaan. Ohjelmaan on mahdollisuus syöttää alkuarvoiksi niiden venymäliuskojen asennuskohdat, joiden väliltä ohjelma laskee suoraan hitsisaumalle ekstrapoloidun jännityksen. On myös mahdollista valita liuskat, joilla lasketaan mittausten välinen virhe.

Mittaustulosten tulkintaan kehitelty html-pohjainen ohjelma toteutettiin JavaScriptillä käyttäen ulkoisia vapaasti käytettäviä koodikirjastoja. Ohjelma sisältää jännityslukemien tarkastelumahdollisuuden graafisessa muodossa ajan funktiona, joten tämä säästää huomattavasti aikaa tulosten analysoinnissa. Ohjelmasta on nähtävissä myös jännitysten minimi- ja maksimiarvot sekä jännitysten esiintymiskerrat, jolloin voidaan nähdä suoraan mittaushetken kriittisimmät paikat.

Venymäliuskamittaukset voidaan suorittaa kyseisellä ohjelmistolla shunt-kalibroinnin varmistettua mittaustulosten luotettavuuden. Tulosten analysointi on myös helppoa siihen kehitellyn erillisen ohjelman avulla. Kyseinen ohjelmisto on valmis kokonaisuus, jota voidaan kuitenkin kehittää edelleen tulevaisuuden tarpeet huomioiden.

Asiasanat: puutavaraperävaunu, venymäliuskamittaus, labview, javascript

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Product Development

HAAVISTO, ELINA:
A Program for Stress Measurements

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 15 pages
December 2015

The purpose of this thesis was to design and create a program for measuring the stress imposed on the critical design spots of a five axle timber trail and an additional program for analyzing the results. These programs were designed for Jyki Oy.

This thesis continues the work of a previous thesis completed a year ago. In that thesis, in addition to creating a program for the measurements, the actual taking of said measurements took place. However, due to problems concerning conflicting results and data collection, the measurements needed to be retaken at a later time. Therefore an updated measuring program and a separate HTML-based program for the analysis of the results were required.

The measuring program was created using Labview, which allowed for inclusion of additional features that would help dealing with the data. The results are saved in separate, time coded files to create a clearer file structure as well as to minimize the errors concerning saving the data. The aforementioned errors are also saved along with their corresponding error codes into separate files. This helps with clearing up any problems regarding the data collection. The measuring program also includes additions to the mathematical portions of Labview, which makes the program easily modifiable according to each individual measurement. In the program, the locations of the gauges that measure the extrapolated stress on the weld toe, can be chosen as initial values. It is also possible to choose the strain gauges with which the error between the measurements can be calculated.

The HTML-based program designed for the analysis of the results was created using JavaScript. The program includes the possibility to view the stress results in a graph form as a function of time, which saves a significant amount of time during the analysis. There are also two additional tables, which show the minimum and maximum values as well as the frequency of the stress occurrences. The latter enables observation of the most critical spots of the measuring target

After the stability of the program is established by using shunt-calibration, the measurements can be taken. The additional program allows for an easy analysis of the results. This program is a complete package, but is also malleable according to future needs.

Key words: timber trailer, strain gauge, stress measurements, labview, javascript

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEORIA.....	6
2.1	Venymäliuskamittaus	6
2.1.1	Eri venymäliuskatyypit ja niiden sovellusalueet	6
2.1.2	Metallinen venymäliuska ja sen toimintaperiaate	7
2.2	Shunt-kalibrointi	8
2.3	Jännityksen ekstrapolointi	9
3	MITTAUSVÄLINEET	10
3.1	Mittauslaitteisto.....	10
3.2	Venymäliuskan valinta	11
4	MITTAUSOHJELMISTO	12
4.1	Mittausohjelmistolle asetetut tavoitteet.....	12
4.2	Mittausohjelmiston suunnittelu.....	12
4.3	Mittausohjelmiston rakenne	13
4.3.1	Parannukset alkuperäiseen ohjelmaan	14
5	MITTAUSTULOSTEN TULKINTA	16
5.1	Analysointiohjelman suunnittelu	16
5.2	Analysointiohjelman rakenne ja käyttö	16
6	MITTAUSOHJELMAN KALIBROINTI	20
6.1	Testiohjelman rakentaminen.....	20
6.2	Shunt-kalibrointi	21
7	POHDINTA	23
7.1	Shunt-kalibroinnin onnistuminen.....	23
7.2	Ohjelmiston soveltuminen käyttötarkoitukseen.....	24
	LÄHTEET	25
	LIITTEET.....	26
	Liite 1. Mittaustulosten analysointiohjelman koodi	26
	Liite 2. Labview-ohjelman eri tiloja.....	33
	Liite 3. Shunt-kalibrointi sekä mittaukset eri herätejännitteillä.	40

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli jatkaa Kalle Seppälän Jyki Oy:lle toteuttamaa opinnäytetyötä puutavaraperävaunun runkorakenteen jännitysmittauksista (Seppälä, K. 2015). Mittausten tarve syntyi alun perin valtioneuvoston vuonna 2013 määrittämän tieliikennettä koskevan asetuksen (407/2013) vuoksi, jossa määritettiin tieliikenteen kuljetuksille suurempi sallittu kokonaismassa (Valtioneuvosto 2013). Tämän seurauksena tuli selvittää mittausten avulla nykyisen perävaunun runkorakenteen kestävyys raskaammalla kuormalla. Tarkasteltavana kohteena oli Jyki Oy:n V 52-T0 puutavaraperävaunu. Seppälän työssä tutkittiin viisiakselisen puutavaraperävaunun kriittisiin kohtiin kohdistuvia jännityksiä, ja mittaukset toteutettiin venymäliuska-antureilla käyttäen mobiilia mittalaitteistoa. Käytettävä mittausohjelmisto laadittiin Labview-ohjelmalla.

Alkuperäisten mittausten epäonnistuttua tiedon tallennuksen sekä osittain ristiriitaisten mittaustulosten suhteen tuli laatia uusi mittausohjelma, joka antaisi luotettavia mittaus tuloksia. Tarkoituksena oli helpottaa runkorakenteen potentiaalisten heikkojen kohtien analysointia, sekä soveltaa saatua mittaustietoa runkorakenteen optimoimiseksi runkoon kohdistuvien rasitusten suhteen. Tärkeintä oli saada data mahdollisimman helposti analysoitavaan muotoon, jotta siitä näkisi suoraan puutavaraperävaunun rungon kriittisiin paikkoihin kohdistuvat rasitukset. Ohjelman vaatimuksina olivat myös, että siitä näkyisi suoraan maksimijännitykset, rungon kestoikäarvio, suurimmat jännitysvaihtelut sekä virhearviot. Lisäksi tulokset tuli olla nähtävissä graafisesti ajan funktiona.

2 TEORIA

2.1 Venymäliuskamittaus

Venymäliuska on ohut komponentti, joka rakentuu yleensä kolmesta eri kerroksesta. Muovista tai laminaatista koostuvan taustahilan välissä on sähköä johtava kupari-nikkeliseosteinen mittaushila. Liuskan toiminta perustuu mittaushilan venymisestä johdettavaan liuskan resistanssin muutokseen. Liuska toimii siis käytännössä vastuksena, ja sen resistanssin muutoksista voidaan laskea mitattavan kappaleen venymät (Hoffman, K. 2012, 6). Hooken lain avulla on myös mahdollista saada selville mitattavaan kappaleeseen kohdistuvat jännitykset. Venymän ja jännityksen välille voidaan vetää yhteys kaavan 1 mukaisesti.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (\text{KAAVA 1})$$

Jossa

$$\sigma = \text{kappaleen jännitys (N/m}^2\text{)}$$

$$E = \text{materiaalin kimmokerroin (N/m}^2\text{)}$$

$$\varepsilon = \text{kappaleen venymä}$$

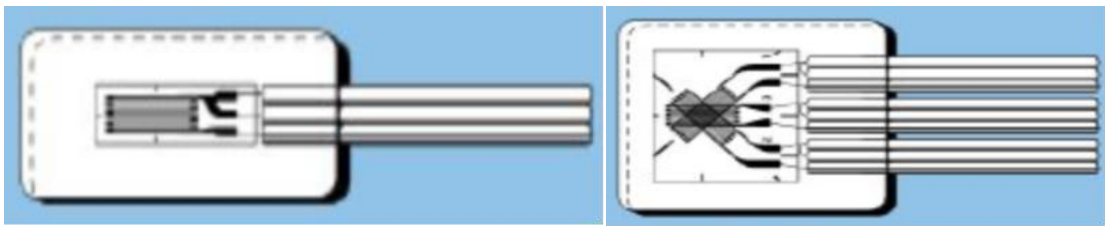
2.1.1 Eri venymäliuskatyypit ja niiden sovellusalueet

Venymäliuskoja on paljon erilaisia, joten ne soveltuvat useisiin käyttökohteisiin myös erikoistarpeet huomioiden. Liuskoja käytetään yleensä venymän mittaamiseen joko dynaamisessa tai staattisessa rasituksessa, mutta ne soveltuvat myös esimerkiksi väännön, paineen tai leikkausjännityksen mittaamiseen. Jotkin liuskatyypit ovat optimoitu toimimaan esimerkiksi erittäin korkeissa lämpötiloissa (Hoffman, K. 2012, 7). Oikeanlaisen venymäliuskan valinta on tärkeää luotettavien mittaustulosten saavuttamiseksi. Valintaan vaikuttavat oleellisesti mittausolosuhteet kuten mittauspaikka, sää, lämpötila sekä mitattavan kohteen materiaali. Liuskat voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin: metalliliuskat ja puolijohdeliuskat. Metalliliuskat ovat ihanteellisia kokeellisten rasitusten mittauksiin, ja näin ollen niitä on käytetty myös kyseisessä työssä. Etuja

metalliliuskojen käytössä ovat esimerkiksi edullinen hinta, kestävyys, pieni lämpötila-herkkyys sekä lineaarisuus mittaustilanteissa (Hoffman, K. 2012, 8).

2.1.2 Metallinen venymäliuska ja sen toimintaperiaate

Tässä työssä käsitellään erityisesti metallista venymäliuskaa, koska sitä on käytetty opinnäytetyöhön liittyvissä mittauksissa. Metalliset venymäliuskat jakaantuvat lineaariliuskoihin sekä kolmielementtisiin rosetteliuskoihin (Kuva 1). Lineaariliuska rakentuu vain yhdestä mittaushilasta koostuvasta liuskasta, kun taas rosetteliuskassa on kolme liuskaa päällekkäin eri kulma-arvoilla: 0°, 45°, 90° tai 0°, 60°, 120°. Kun kulma-arvot tiedetään, samasta mittauspisteestä voidaan laskea eri suuntien jännitysten perusteella pisteen pääjännitykset ja niiden suunnat.



Kuva 1. Vasemmalla lineaariliuska, oikealla rosetteliuska (Tokyo Sokki Kenkyujo 2008)

Metallisen venymäliuskan toiminta perustuu liuskan vastusarvon muuttumiseen kuormituksen seurauksena. Tämän ovat esittäneet ensimmäisinä brittiläiset tiedemiehet Thomson ja Wheatstone kaavan 2 mukaisesti:

$$\frac{dR}{R_0} = \varepsilon(1 + 2\nu) + \frac{dQ}{Q} \quad (\text{KAAVA 2})$$

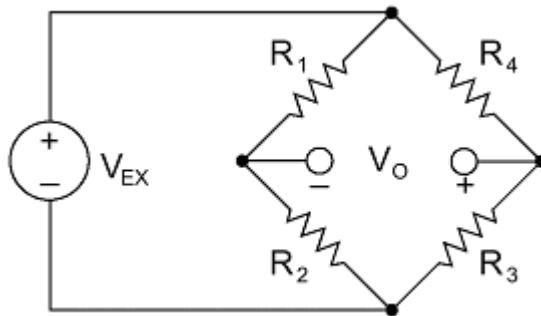
missä R_0 = alkuperäinen resistanssi (Ω)

ε = venymä (m)

ν = Poissonin vakio

Q = resistiivisyys (Ω/m)

Venymäliuskassa tapahtuvat resistanssin muutokset sekä venymät ovat erittäin pieniä, joten signaalin tulkitsemiseksi tarvitaan erityinen mittaustilaiteisto, jossa signaali saadaan vahvistettua jännitesignaalin avulla. Yleensä tämä tapahtuu kytkemällä liuska-anturi Wheatstonen siltaan, jossa se on kolmen muun saman vastusarvon omaavan vastuksen kanssa (kuva 2). Siltaan syötetään tasaisesti jännitettä V_{EX} , jolloin liuska-anturin jännitteen muuttuessa myös sillan pisteiden välinen jännite muuttuu. Sillalta tuleva jännite V_0 saadaan kaavasta 3. Silta saa nimensä siihen kytkettyjen liuskojen lukumäärän (1,2 tai 4) mukaisesti: *quarter bridge*, *half bridge* tai *full bridge*.



Kuva 2. Wheatstonen sillan kytkentä (www.ni.com)

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] * V_{EX} \quad (\text{KAAVA 3})$$

jossa V_0 = sillalta tuleva jännite
 $R_1 - R_4$ = siltaan kytketyt venymäliuskat
 V_{EX} = syöttöjännite

2.2 Shunt-kalibrointi

Venymäliuska-anturin toiminta pohjautuu liuskan pituuden muutoksen aiheuttamaan resistanssin muuttumiseen. Kun liuskan pituus ja resistanssi ovat tiedossa, mittalaitteiston toiminta voidaan varmistaa tarkkuusasteineen lisäämällä mittauksen kytkentään resistanssiarvoltaan tunnettu vastus. Tuntemalla liuskan ja vastuksen resistanssi sekä liuskan Gauge Factor, saadaan laskettua simuloitu venymä ja voidaan verrata tätä mittalaitteen antamaan tulokseen. Vertailulla voidaan myös arvioida mittaustilaiteistosta, ohjel-

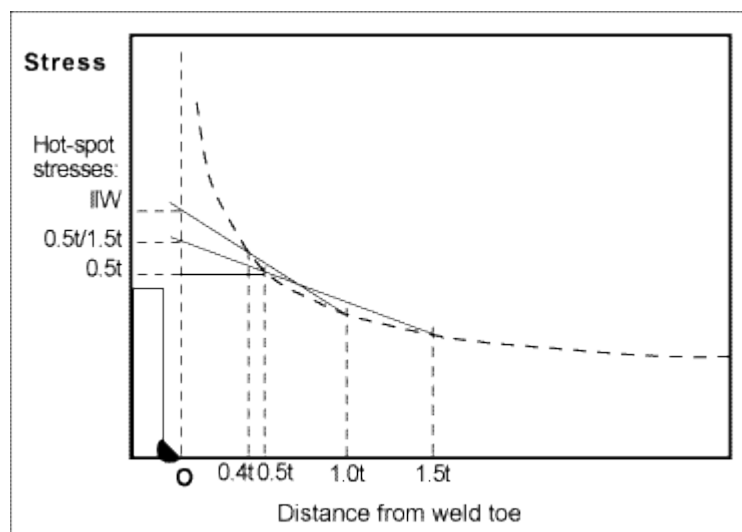
mistosta tai mittausjärjestelyistä johtuvan mittausvirheen suuruusluokkaa. Simuloidun venymän, venymäliuskan sekä vastuksen arvojen välinen yhteys näkyy kaavassa 4:

$$R_{shunt} = \left[\frac{R_{Gauge}}{F_G(\varepsilon)} \right] - R_{Gage} \quad (KAAVA\ 4)$$

jossa R_{shunt} = shunt vastuksen resistanssi (Ω)
 R_{Gage} = venymäliuskan sisäinen resistanssi (Ω)
 F_G = venymäliuskan Gauge Factor -arvo
 ε = venymäliuskan venymäarvo

2.3 Jännityksen ekstrapolointi

Kohtisuoraan hitsisaumalle syntyvä jännitys saadaan selville lineaarisen ekstrapoloinnin avulla. Tällöin saadaan myös eliminoidua paikallisen loven vaikutus. Paikallinen lovi esiintyy yleensä hitsatuissa levyrakenteissa, ja se aiheuttaa epälineaarisen jännitysjauman levyn paksuussuunnassa. Tämän vaikutus ulottuu suunnilleen 0,4 kertaa levyn paksuuden päähän hitsin rajaviivasta. Lineaarinen ekstrapolointi suoritetaan laskemalla jännityksen arvot kahdesta eri kohdasta, johon paikallisen loven vaikutus ei ulotu. Yleensä ekstrapoloinnin laskennassa käytettävät etäisyydet hitsin rajapinnasta ovat 0,4 ja 1,0 kertaa ainepaksuus (Niemi, E. 2003. 100). Ekstrapolointia havainnollistaa kuva 3.



Kuva 3. Lineaarinen ekstrapolointi (<http://www.twi-global.com>)

3 MITTAUSVÄLINEET

3.1 Mittauslaitteisto

Mittausohjelman kehittäessä käytettiin samaa mittauslaitetta, kuin aiemmassa opinnäytetyössä. Tällä haluttiin varmistaa, että mittaustuloksista saadaan mahdollisimman luotettavia sekä vertailukelpoisia aiempiin mittaustuloksiin nähden. Mittalaitteelle asetettiin jo aiemmin erinäisiä vaatimuksia, joiden perusteella sen oletettiin soveltuvan erinomaisesti vaadittavaan mittaustoimenpiteeseen: mittalaitteen itsenäinen toiminta muutamien päivien ajan, soveltuminen vaihteleviin sääolosuhteisiin sekä tärinään, ja jännitteen saaminen joko perävaunun sähköjärjestelmästä tai erillisen akun avulla.

Mittalaite oli National Instruments cRio 9022 (kuva 4), johon oli kiinnitetty kahdeksanpaikkainen cRio 9114 laajennusmoduuli (kuva 5). Moduuliin oli kytketty venymäliuskamittauksiin tarkoitettu NI 9235 mittauskortti (kuva 6), johon sai kytkettyä kiinni tarvittaessa kahdeksan venymäliuskaa.



Kuva 4. National Instruments cRio 9022 mittalaite (www.ni.com)



Kuva 5. NI 9235 mittauskortti (www.ni.com)



Kuva 6. cRio 9114 laajennusmoduuli (www.ni.com)

3.2 Venymäliuskan valinta

Testimittauksissa päädyttiin käyttämään samoja liuskoja, kuin alkuperäisissä rasitusmittauksissa. Liuskojen tulee seuraavia mittauksia ajatellen toimia vaihtelevissa sääolosuhteissa, joten sääsuojatut ja valmiiksi johdotetut liuskat olivat looginen valinta ympäristön vaikutuksen, sekä mahdollisten mittavirheiden minimoimiseksi. Mittauskohdat olivat suurimmaksi osaksi tiedossa, joten lineaariliuskoja käyttämällä voitiin mitata suoraan hitsisaumalle kohdistuvaa jännitystä, jotta saataisiin selville todellinen jännitys ekstrapoloinnin avulla.

4 MITTAUSOHJELMISTO

4.1 Mittausohjelmistolle asetetut tavoitteet

Mittausohjelmiston luominen oli tarkoitus suorittaa Labview-ohjelmalla. Tavoitteena oli helpottaa mittaustulosten tulkintaa siten, että ne saataisiin raakadatan sijaan helpommin luettavaan muotoon käyttäen esimerkiksi erilaisia kuvaajia ja diagrammeja. Nämä tiedot tulisi tallentaa tavallisten mittaustulosten lisäksi muistitikulle. Mittaustulosten määrä ei myöskään saisi olla rajallinen, ja suhteessa laitteiston toimivuuteen yhä kasvava datan määrä ei tuottaisi ongelmia, koska se olisi jo valmiiksi analysoitavissa. Ohjelmiston tulisi toimia jatkuvalla virransyötöllä itsenäisesti, tai sitten vaihtoehtona olisi asettaa tämän toiminnalle tietynsuuruinen kynnysarvo, jonka ylittyminen saisi aikaan mittausohjelman käynnistymisen.

Mittaustulosten vertailukelpoisuuden vuoksi mittausohjelman toimivuus tulisi varmistaa kalibroimalla. Vaihtoehtona esitettiin vetokokeen suorittamista mittausohjelmiston ja venymäliuskan avulla. Venymäliuskaa kuormitettaisiin vetokoneen avulla tietynsuuruuisella voimalla, ja tämän jälkeen tarkasteltaisiin liuskalle muodostuvien jännitysten yhteneväisyyttä vetokoneen vetovoimaan suhteutettuna.

Mittausohjelmiston valmistuttua haluttuine ominaisuuksineen ja laitteiston toimivuuden toteamisen jälkeen tulisi suorittaa testimittaukset. Alun perin tavoitteena oli, että simuloitaisiin oikeaa mittaustilannetta rakentamalla yhtiön pihaan oikeaa mittaustilannetta jäljittelevät olosuhteet, jonka avulla saataisiin aikaiseksi kontrolloidut, mahdollisimman totuudenmukaiset mittaustulokset. Testimittausten onnistuttua laitteisto voitaisiin asentaa oikeaan perävaunuun.

4.2 Mittausohjelmiston suunnittelu

Tässä opinnäytetyössä Labview-ohjelmointi oli tekijälle jokseenkin vierasta, joskin koulussa oli ensimmäisenä vuotena käyty yhden kurssin verran sen perusteita läpi. Haasteeksi muodostui erittäin laajan ohjelman rakentaminen välttävillä perustaidoilla,

jolloin aikaa meni paljon ohjelmaan perehtymiseen. Apuja tähän saatiin tutkimalla aiemmin käytettyä mittausohjelmaa sekä lukemalla alan kirjallisuutta.

Mittausohjelmistoa suunniteltaessa pyrittiin ottamaan kaikki sille asetetut tavoitteet huomioon. Ohjelmaa lähdettiin rakentamaan täysin alusta samalla toimintaperiaatteella aiemman mittausohjelman kanssa. Lähtökohtana oli saada ohjelma koodattua selkeäksi ja johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi, jotta sen tulkinta ja käyttö olisi mutkatonta myös myöhempiä mittaustilanteita silmälläpitäen. Ohjelman tuli sisältää parannuksia esimerkiksi datan tallennuksen suhteen. Lisäksi mittaustulosten tulkinnan helpottamiseksi tulosten tarkasteleminen päätettiin toteuttaa erillisen web-selaimella toimivan ohjelman avulla. Tämän toteutumiseksi piti tutustua Java-ohjelmointiin.

4.3 Mittausohjelmiston rakenne

Mittausohjelmisto on rakennettu siten, että se käy läpi siihen koodattuja tiloja (taulukko 1), joiden statuksista riippuen se pysyy joko alkuperäisessä tai siirtyy seuraavaan haluttuun tilaan. Labview-ohjelman eri tilat on myös esitetty liitteessä 2. Käytettyä menetelmää kutsutaan State machine-koodaukseksi. Toteutuskieli on englanti aivan kuten aiemmassakin ohjelmassa, sillä se helpottaa jatkossa ohjelman kehittämistä ja tarvittavien ohjeiden hankintaa National Instrumentsin Internet-sivuilta.

TAULUKKO 1. Mittausohjelmiston eri toimintatilat

Sijainti	Ohjelman tila	Tehtävä	Tilan valinta
1.	Init	Mittausdatan ja virheen alustaminen, mittalaitteen kytkimen tilan tarkkailu	Siirtyy 2. tai 4. tai pysyy samassa
2.	Measure	Mittausarvojen saanti mittalaitteelta, muuntaminen jännitykseksi, skaalaus, virheen ja ekstrapoloidun jännityksen laskenta	Siirtyy 3. tai 4. tai pysyy samassa
3.	Write	Luodaan ja otsikoidaan uusi kansio tarvittaessa, kirjoitetaan data muistitikulle	Siirtyy 1. tai 4.
4.	Handle error	Luodaan uusi kansio tarvittaessa, kirjoitetaan virhekoodit muistitikulle, poistetaan virhetilat ohjelmistosta	Siirtyy 1.

4.3.1 Parannukset alkuperäiseen ohjelmaan

Mittausohjelmaan pyrittiin tekemään joitakin parannuksia sen käytön helpottamiseksi. Ohjelmaa on mahdollista soveltaa muihinkin venymämittauksiin, sillä koodi on rakennettu helposti ymmärrettävään muotoon, jolloin sitä on helppo muokata jälkeenpäin halutunlaiseksi.

Suurin muutos oli mittalaitteelta tulevan datan tallennuksessa sekä jatkokäsittelyssä. Ohjelmaan sisällytettiin kaikki datan analysointiin tarvittavat matemaattiset kaavat mitaustulosten analysoinnin helpottamiseksi. Mittaustulokset tallentuvat muistitikulle johdonmukaiseen järjestykseen päivämäärän sekä ajan mukaan, jolloin niiden arkistointi sekä tarkastelu ovat vaivatonta. Aiemmasta ohjelmasta poiketen myös mahdolliset mittalaitteen virheet tai ohjelman mittaukseen vaikuttavat virhetilanteet saadaan koordinoitua tallentamalla ne virhekoodeineen muistitikulle. Alkuperäisten mittausten datan tuhoutumiseen viitaten tämä oli erityisen tärkeä ominaisuus, jotta voitaisiin jatkossa vält-

tyä kyseisiltä ongelmilta. Mittaustulosten tarkastelu toteutettiin JavaScriptillä koodatun erillisen html-pohjaisen ohjelman avulla. Ohjelma laskee ekstrapoloidun jännityksen erikseen määritetyille hitsisaumoille, ja tekee haluttujen mittauskanavien väliltä virhetarkastelun.

Ohjelmaan on mahdollisuus syöttää juuri sellaiset alkuarvot, kuin mittaus vaatii onnistuakseen. Tällaisia ovat hitsisaumalle ekstrapoloidun jännityksen laskemiseen tarvittavat etäisyydestä riippuvaiset lukuarvot, sekä Labview-ohjelman sisältämän muunnosohjelman alkuarvot.

Labview-ohjelma sisälsi National Instrumentsin oman muunnosohjelman, jonka avulla mittalaitteen venymä saatiin muunnettua jännitykseksi. Ohjelman koodi perustui Hooke'n lakiin (kaava 1), jolloin haluttu jännitteen arvo saatiin kertomalla venymän arvo materiaalin kimmokertoimella. Muunnosohjelmaan määritettiin ohjelmaa koodatessa arvot, jotka mittaus vaati onnistuakseen. Tärkeitä arvoja olivat liuskan alkujännite lepo-tilassa, liuskan s-arvo sekä sen johtimien aiheuttama vastusarvo, siltakytkennän oma vastusarvo sekä liuskalle syötettävä jännitteen arvo. Ohjelmassa määriteltiin myös käytettävä siltatyyppe, joka tässä tapauksessa oli neljännessilta. Poissonin vakion vaikutus oli mitätön, joten sitä ei tarvinnut ottaa huomioon.

5 MITTAUSTULOSTEN TULKINTA

Mittautulosten lopullista analysointia varten piti kehitellä jokin toimiva ratkaisu niiden tulkinnan helpottamiseksi. Raakadatan sijaan tulokset tuli olla selkeästi esillä, jotta säästyttyäisiin mittauksen jälkeisten laskelmien tekemiseltä. Labview:ssa ei ollut suoraan tällaista mahdollisuutta, joten ratkaisua lähdettiin hakemaan toisaalta. Itse koodattu ohjelma tuntui hyvältä vaihtoehdolta luoden mahdollisuudet juuri sellaiseen kokonaisuuteen, joka sisältäisi kaikki haluttavat ominaisuudet. Tämä tiesi lisää haastetta uuden asian opiskeluun, sillä JavaScriptistä ei ollut aiempaa kokemusta.

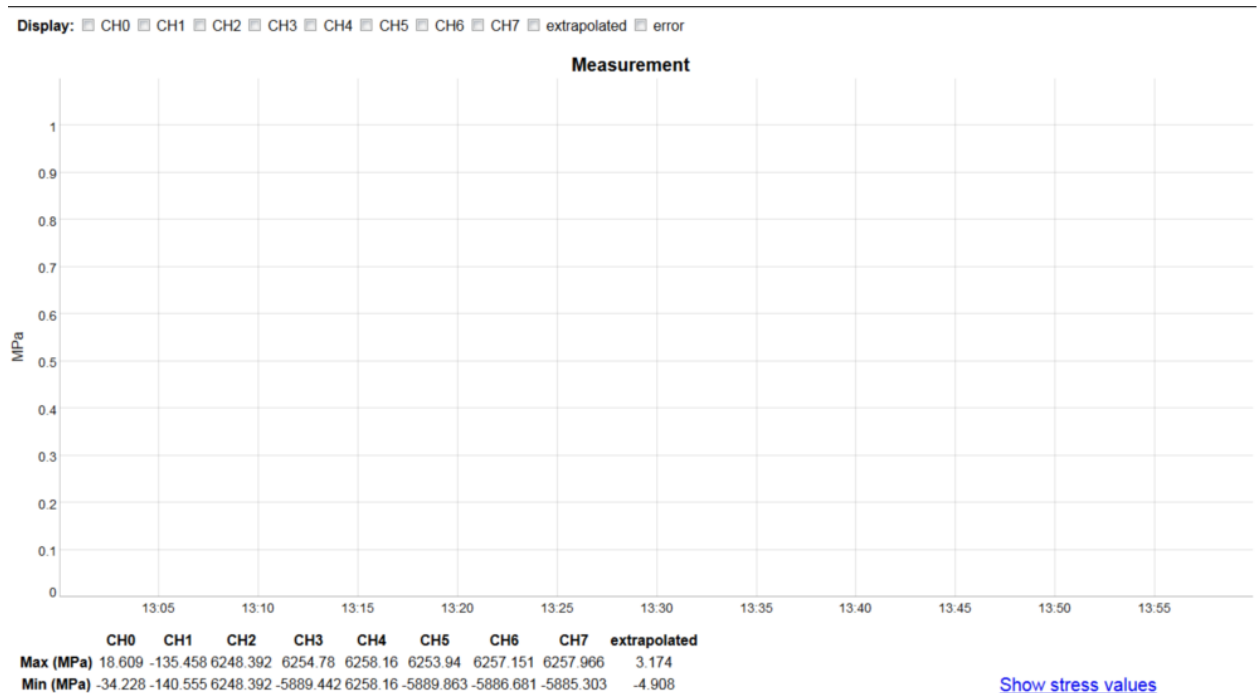
5.1 Analysointiohjelman suunnittelu

Mittautulosten analysointia varten kehiteltiin erillinen JavaScriptiin perustuva html-pohjainen ohjelma, josta dataa on helppo tulkita jälkeenpäin ilman erillisiä laskutoimenpiteitä. Tähän hyödynnettiin Internetistä löytyviä vapaasti käytettäviä koodikirjastoja, joiden avulla saatiin rakennettua selkeä ja toimiva ohjelma datan analysointia varten. Koodikirjastoja oli yhteensä neljä erilaista. Haastetta ohjelman suunnitteluun toi se, että mittausohjelma oli tarkoitus kytkeä jatkuvalle virralle. Tällöin tuli ottaa erityisesti huomioon mittautulosten suuresta lukumäärästä aiheutuva suuri tiedostojen koko. Ohjelman koodaus oli melko haasteellinen, mutta loppujen lopuksi siitä kehkeytyi varsin toimiva ja ulkoasultaan selkeä kokonaisuus. Ohjelman koodi on myös kirjoitettu ymmärrettävästi, jolloin jatkojalostaminen onnistuu tarvittaessa mutkattomasti. Ohjelma-koodi on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1.

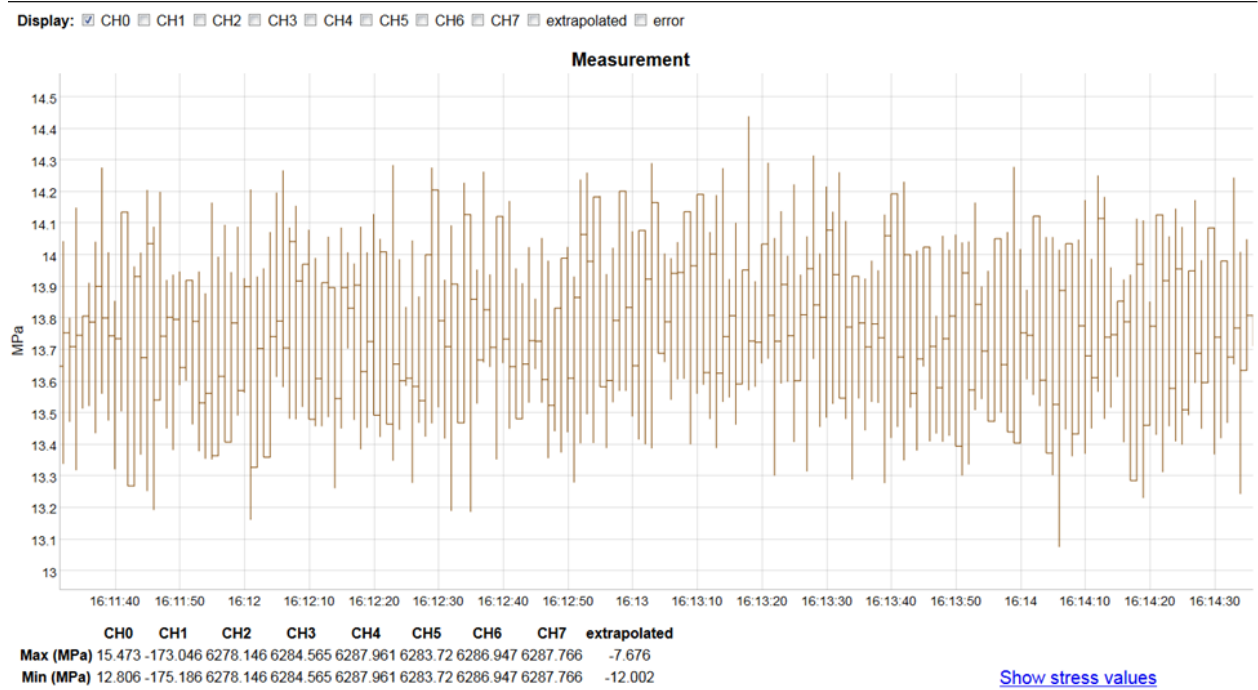
5.2 Analysointiohjelman rakenne ja käyttö

Mittausohjelmasta saadun datan tarkasteluun tarkoitettu ohjelma on ulkoasultaan yksinkertainen ja sen myötä erittäin helppokäyttöinen. Se on myös suhteellisen kevyt tiedostorakenteeltaan. Ohjelma toimii siten, että haluttu määrä mittautuloksia raahataan hiiren avulla tiedostosta suoraan kansiomuodossa ohjelmasivulle, jolloin siitä voidaan nähdä suoraan taulukoista jännitysten arvot ja niiden eri esiintymiskerrat, sekä yksittäiset minimi- ja maksimijännitykset, sekä myös graafisesti eri jännitysvaihtelut ajan funk-

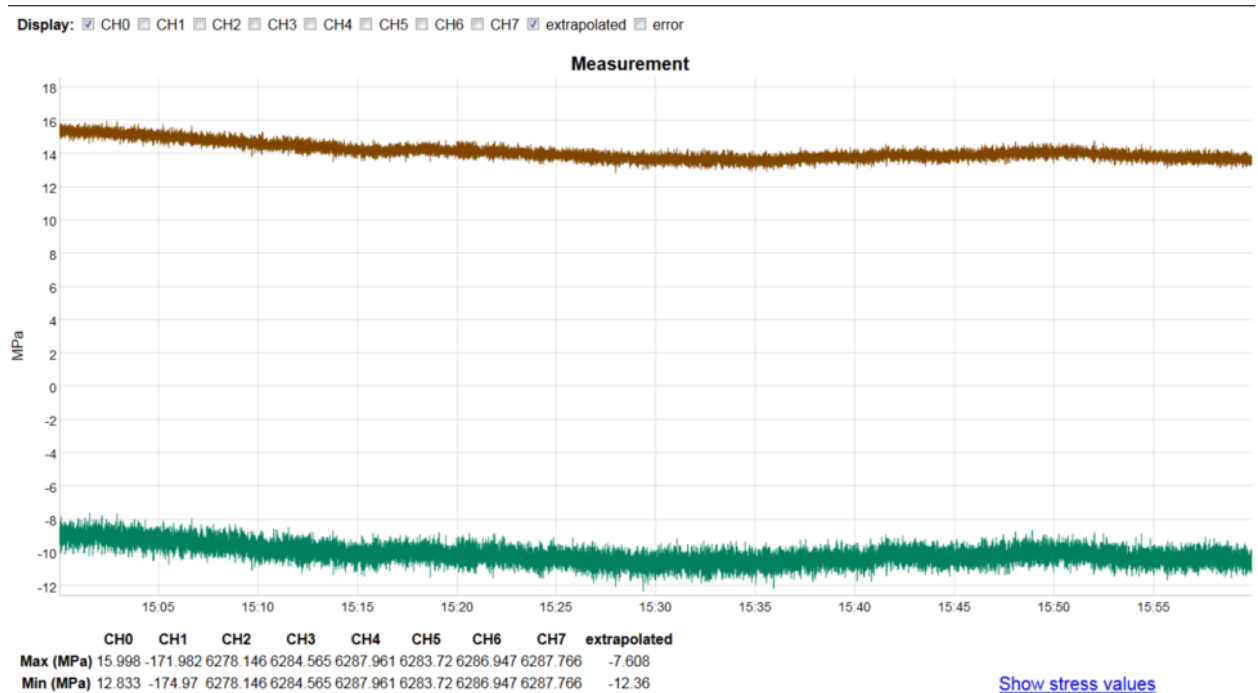
tiona. Tiedostokansioita on mahdollista raahata näytölle useampiakin, mutta optimaalinen määrä on tulosten selkeyden säilyttämiseksi enintään viisi tiedostoa kerrallaan. Taivotteena oli myös saada kestoikäennuste näkyviin ohjelmaan. Sen sisällyttäminen kokonaisuuteen osoittautui kuitenkin mahdottomaksi toteuttaa, sillä halutuissa kaavoissa oli käytetty verrokkiyksikkönä mittausten ajokilometrejä, joita ei pystytty mittalaitteeseen tallentamaan. Kuvassa 7 on esitetty näkymä analysointiohjelmasta, kun mittaustulokset on siirretty ohjelmasivulle. Kuvissa 8 ja 9 näkyy sekä mittaustulokset graafisessa muodossa ajan funktiona, että jännitysten maksimi- ja minimiarvot. Kuvassa 10 esiintyy taulukko, josta selviää jännitysten eri arvot sekä niiden esiintymiskerrat.



Kuva 7. Analysointiohjelman päänäkymä



Kuva 8. Mittaustulosten graafinen tarkastelu, jossa näkyy venymäliuska-anturin antamia jännitysten arvoja ajan funktiona.



Kuva 9. Mittaustulosten graafinen tarkastelu, jossa vertaillaan venymäliuska-anturin antamia jännitysten arvoja hitsisaumalle ekstrapoloituihin arvoihin.

	CH0	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	extrapolated
-200 - -190 MPa	0	0	0	1	0	0	3	6	0
-190 - -180 MPa	0	0	0	2	0	0	1	4	0
-180 - -170 MPa	0	0	0	4	0	0	0	1	0
-170 - -160 MPa	0	0	0	1	0	0	1	0	0
-160 - -150 MPa	0	0	0	1	0	0	1	0	0
-150 - -140 MPa	0	213	0	0	0	0	0	1	0
-140 - -130 MPa	0	31087	0	3	0	0	0	0	0
-130 - -120 MPa	0	0	0	2	0	0	1	0	0
-120 - -110 MPa	0	0	0	2	0	0	1	0	0
-110 - -100 MPa	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-100 - -90 MPa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-90 - -80 MPa	0	0	0	3	0	0	1	0	0
-80 - -70 MPa	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-70 - -60 MPa	0	0	0	2	0	0	1	0	0
-60 - -50 MPa	0	0	0	0	0	0	0	1	0
-50 - -40 MPa	0	0	0	1	0	0	0	0	0
-40 - -30 MPa	7822	0	0	1	0	0	1	0	0
-30 - -20 MPa	828	0	0	1	0	0	2	0	0
-20 - -10 MPa	7650	0	0	0	0	0	0	0	0
-10 - 0 MPa	8500	0	0	2	0	1	2	0	22783

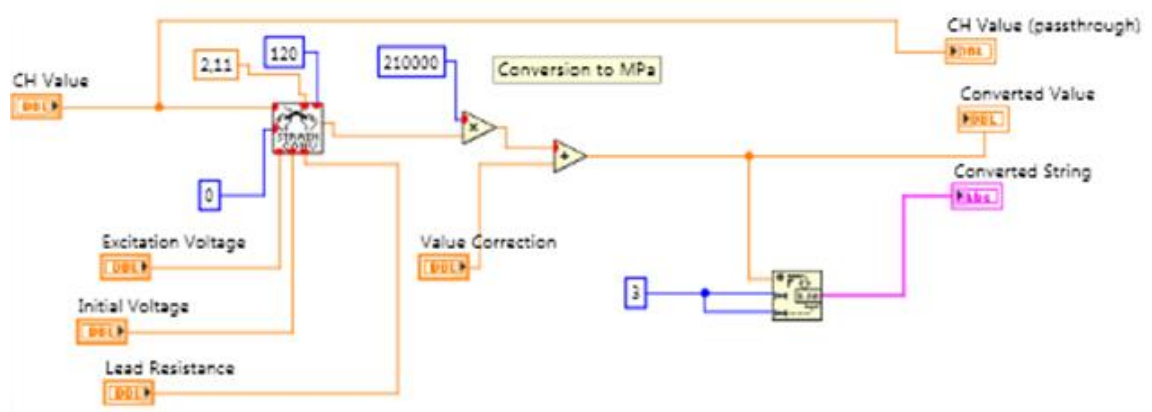
Kuva 10. Jännitysten esiintymiskerrat taulukkomuodossa.

6 MITTAUSOHJELMAN KALIBROINTI

Mittausohjelmiston toimivuuden tarkistaminen oli tärkeää luotettavien mittaustulosten aikaansaamiseksi. Vaihtoehtoina oli ohjelmiston kalibroiminen joko koulun laboratorion löytyvän venymälaitteen tai shunt-menetelmän avulla. Koulun laboratorion ollessa remontissa, sekä venymäkoneiden sisäisten kalibrointien epävarmuuksista johtuen päätettiin käyttämään shunt-menetelmää, jonka todettiin olevan virhemarginaaleineen riittävän tarkka menetelmä osoittamaan mittaustulosten luotettavuus.

6.1 Testiohjelman rakentaminen

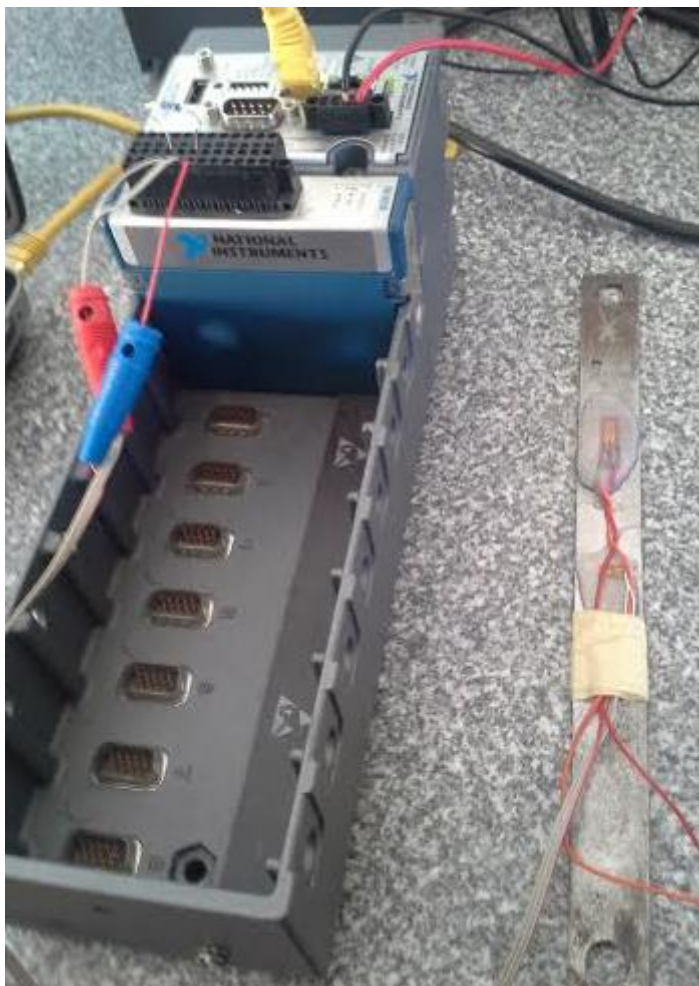
Jotta Labview-ohjelmiston toiminta varmistuisi myös itse mittalaitteen toimivuuden lisäksi, päätettiin rakentaa pelkistetty testiohjelma ainoastaan shunt-kalibrointia varten. Koska ohjelmisto sisälsi pelkästään yhden matematiikkaosion, joista mittaustulokset olisivat riippuvaisia, testiohjelma rakennettiin vain tämän matematiikkaosion varaan. Kuvassa 7 näkyy Labview-ohjelman oma muunnosohjelma, joka muuntaa jännitteen arvon jännitykseksi.



Kuva 7. Ohjelma muuntaa jännitteen venymäksi ja sitten jännitykseksi.

6.2 Shunt-kalibrointi

Shunt-kalibrointi suoritettiin testaamalla, kuinka eri vastusarvojen omaavien vastusten liittäminen mittalaitteen siltakytkentään vaikutti myös siinä olevan venymäliuska-anturin antamiin venymäarvoihin. Kalibroinnin tavoitteena oli, että liuskan venymäarvot muuttuisivat aiemmin määritellyn kalibroitikaavan mukaisesti vastusarvoista sekä liuskan ominaisarvoista riippuen. Esimerkiksi 120 k Ω liuskalla venymän arvoksi tuli saada noin 500 $\mu\text{m}/\text{m}$. Kalibrointi suoritettiin sekä paljaalle, että metalliseen koekappaleeseen liimattuun liuskaan. Vastuksia oli yhteensä seitsemän, ja niiden vastusarvot vaihtelivat 10 k Ω ja 220 k Ω välillä. Kuvassa 8 näkyy kalibrointitilanne metallisen koekappaleen kanssa.



Kuva 8. Liuska on liimattuna koekappaleeseen todellista mittaustilannetta mukaillen (Kuva: Elina Haavisto 2015)

Kalibrointi osoitti, että mittausohjelma antaa luotettavia mittausarvoja. Venymäliuska-anturin antamat venymäarvot vaihtelivat vastusarvosta riippuen käytettävää kalibrointi-

kaavaa noudattaen, ja poikkesivat vain hieman lasketuista arvoista. Laskennallinen virhe vaihteli ilman koekappaletta suoritettussa mittauksessa 2,9 % ja 11,8 % välillä, kun taas liuskan ollessa koekappaleessa kiinni päästiin tarkempiin arvoihin virheen vaihdella 0,2 % ja 3,9 % välillä. Seuraavissa taulukossa (taulukko 2) näkyy laskennalliset ja kalibroinnin antamat mittausarvot sekä niiden välinen virhe. Kalibrointitulokset kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 2. Ilman koekappaletta suoritettun shunt-kalibroinnin antamat arvot.

kΩ	Ω	MPa	ABS(MPa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-1232,35	1232,35	0,005868	0,005646527	0,00022181	1185,770751	46,57924901	3,779709418
68,6	68600	-179,825	179,825	0,000856	0,000831532	0,00002478	174,6216531	5,203346915	2,893561471
82	82000	-165,589	165,589	0,000789	0,000695846	0,00009267	146,1276181	19,46138188	11,75282288
100	100000	-125,508	125,508	0,000598	0,000570744	0,00002691	119,8561726	5,651827407	4,503161079
120	120000	-104,289	104,289	0,000497	0,000475715	0,00002090	99,9000999	4,3889001	4,208401749
220	220000	-57,679	57,679	0,000275	0,000259599	0,00001506	54,5157187	3,163281301	5,484285964

Taulukko 3. Koekappaleen kanssa suoritettun shunt-kalibroinnin antamat arvot.

kΩ	Ω	MPa	ABS(MPa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-1233,33	1233,33	0,005873	0,005646527	0,00022647	1185,770751	47,55924901	3,856165747
68,6	68600	-180,644	180,644	0,00086	0,000831532	0,00002868	174,6216531	6,022346915	3,333820617
82	82000	-150,545	150,545	0,000717	0,000695846	0,00002104	146,1276181	4,41738188	2,934260108
100	100000	-123,537	123,537	0,000588	0,000570744	0,00001753	119,8561726	3,680827407	2,979534396
120	120000	-103,086	103,086	0,000491	0,000475715	0,00001517	99,9000999	3,1859001	3,090526454
220	220000	-54,6329	54,6329	0,00026	0,000259599	0,00000056	54,5157187	0,117181301	0,214488525

7 POHDINTA

7.1 Shunt-kalibroinnin onnistuminen

Shunt-kalibroinnin onnistumiseen vaikuttaa useita eri seikkoja. Alussa hankaluuksia tuotti halutun herätejännitteen löytäminen luotettavien kalibroitiarvojen saamiseksi. Aiemmissa rasiusmittauksissa käytetty herätejännitteen arvo oli kaksi voltia, mutta kyseisen alkuarvon syöttäminen ohjelmistoon tuotti liian suuria virheitä, joka johti kalibroinnin epäonnistumiseen. Toisaalta yleismittarilla varmistettuna mittakortin venymäliuskalle antama jännite oli aina kaksi voltia huolimatta ohjelmaan syötetyistä arvoista. Asettamalla ohjelmaan alkuarvoksi yhden voltin herätejännite saatiin kaikista tarkimmat mittauserot kalibroinnissa, ja ne paranivat entisestään käyttämällä koekappaleeseen liimattua venymäliuskaa.

National Instrumentsin ilmoittama virhe mittalaitteen vahvistimelle on 0,4 %, mutta kokonaisvirhe mittausermenetelmälle on muutaman prosentin luokkaa koostuen useammasta eri asiasta. Shunt-kalibrointi itsessään on kalibroitimenetelmänä vain suuntaa antava, ja näin ollen tarkoituksena oli vain varmistaa ohjelman toimivuus luotettavien mittauservojen saamiseksi. Mittakortin neljännessiltakytkennästä johtuen virheen osuus on huomattava, ja koska liuskat on kompensoitu toimimaan liuskasta riippuen tietyllä lämpötila-alueella, myös lämpötilasta aiheutuu virhettä. Venymäliuskan asennuksen onnistumisessa on omat epävarmuutensa. Liuskan oma virhe on yhden prosentin luokkaa, ja koska sen liimaus suoritetaan aina käsityönä, virhettä saattaa syntyä liuskan asennuksessa haluttujen etäisyyksien, asennussuuntien ja liimaliitoksen onnistumisen suhteen. Myös asennuskohteen mahdolliset pintavirheet vaikuttavat tuloksiin, ja tällaisia aiheutuu esimerkiksi rasvajäämistä tai huolimattomasta hionnasta. Virhettä voi syntyä myös kaapeloinneista ja liitännöistä, sekä niistä mahdollisesti johtuvista häiriötilanteista. Shunt-vastusten suhteellinen virhe on prosentin luokkaa, ja tämä vaikuttaa kalibroinnista saataviin tuloksiin.

Virheen kasvu herätejännitettä nostettaessa selittyy todennäköisesti lämpötilalla, sillä venymäliuska on normaalissa mittauserilanteessa liimattuna metalliin. Venymäliuska on todellisuudessa vastus, jonka ominaisuutena on sähköenergian hukkaaminen lämmöksi. Kun liuska on kiinni metallisessa alustassa, metalli toimii tässä tapauksessa jäähdy-

tysyksikkönä, jolloin liuska ei pääse lämpenemään liikaa. Suuret virheet pienellä herätejännitteellä johtuvat pitkälti siitä, että sähköisten häiriöiden vaikutus erittäin pieniin jännitteisiin on huomattava.

7.2 Ohjelmiston soveltuminen käyttötarkoitukseen

Mittausohjelmiston luotettava toiminta saatiin varmistettua shunt-kalibroinnin ja testimittausten avulla. Ohjelmistoa ja mittaustulosten tulkintaan kehiteltyä ohjelmaa voidaan täten käyttää seuraaviin suoritettaviin rasitusmittauksiin. Ohjelmiston toimintaan ja sen käyttöön liittyvien tavoitteiden täytyminen toteutui hyvin, ja ohjelmiston selkeä rakenne mahdollistaa myös sen kehittämisen tarvittaessa tulevaisuuden mittaustarpeita silmällä pitäen. Mittaustulosten tulkintaan tarkoitettun html-pohjaisen ohjelman rakenne jäi melko yksinkertaiseksi, mutta siihen on helppo lisätä tulevia mittaustarpeita huomioiden uusia ominaisuuksia. Tutustuminen Java-ohjelmointiin jäi melko lyhyeksi, ja ohjelmoinnin parempi tuntemus auttaisi jatkossa kehittämään ohjelmaa entisestään.

LÄHTEET

Hoffman, K. 2012. An Introduction to Stress Analysis and Transducer Design using Strain Gauges. HBM.

Niemi, E. 2003. Levyrakenteiden suunnittelu. Helsinki: Teknologiainfo Teknova.

Valtioneuvoston asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä annetun asetuksen muuttamisesta 6.6.2013/407.

Seppälä, K. 2014. Perävaunun rungon rasitusmittaukset. Jyky V52-T0 puutavaraperävaunu. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

LIITTEET

1(7)

Liite 1. Mittaustulosten analysointiohjelman koodi

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="en" lang="en">
<head>
<title>Measurement</title>
<meta http-equiv="content-type" content="application/xhtml+xml; charset=utf-8" />
<style>
body {
    font-family: Arial, Helvetica, sans-serif;
    margin: 0px;
    padding: 0px;
}
#graph {
    display: block;
    position: absolute;
    top: 50px;
    width: 100%;
    height: 80%;
    background-color: #FFFFFF;
}
#display {
    margin: 10px;
    position: relative;
    display: none;
    left: 0px;
}
#minmax {
    margin: 10px;
    position: absolute;
    display: none;
    bottom: 5px;
    left: 0px;
}
#minmax td {
    text-align: center;
}
#showdata {
    margin: 10px;
    position: absolute;
    display: none;
    bottom: 5px;
    right: 100px;
    font-size: 20px;
}
#ranges_header th {
    width: 82px;
}
#ranges_header td {
    width: 127px;
}
#ranges_wrapper {
    max-height: 95%;

```

2(7)

```

overflow: auto;
#ranges td {
    text-align: center;

    width: 82px;
}
</style>

<script type="text/javascript" src="jquery-1.4.4.min.js"></script>
<script type="text/javascript" src="dygraph-combined.js"></script>
<script type="text/javascript" src="jquery.csv-0.71.js"></script>
<script type="text/javascript" src="jquery.fancybox-
1.3.4.js"></script>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="jquery.fancybox-
1.3.4.css" />

</head>
<body>

<div id="graph">
<span id="graph_txt" style="font-size: 400%; color: #AAAAAA;">Drag and
drop the measurement file(s) here</span>
</div>

<p id="display"><b>Display: </b>
<input type="checkbox" id=0 onClick="change(this)">
<label for="0"> CH0</label>
<input type="checkbox" id=1 onClick="change(this)">
<label for="1"> CH1</label>
<input type="checkbox" id=2 onClick="change(this)">
<label for="2"> CH2</label>
<input type="checkbox" id=3 onClick="change(this)">
<label for="3"> CH3</label>
<input type="checkbox" id=4 onClick="change(this)">
<label for="4"> CH4</label>
<input type="checkbox" id=5 onClick="change(this)">
<label for="5"> CH5</label>
<input type="checkbox" id=6 onClick="change(this)">
<label for="6"> CH6</label>
<input type="checkbox" id=7 onClick="change(this)">
<label for="7"> CH7</label>
<input type="checkbox" id=8 onClick="change(this)">
<label for="8"> extrapolated</label>
<input type="checkbox" id=9 onClick="change(this)">
<label for="9"> error</label><br />
</p>

<table id="minmax">
<tr><td></td><th>CH0</th><th>CH1</th><th>CH2</th><th>CH3</th><th>CH4</
th><th>CH5</th><th>CH6</th><th>CH7</th><th>extrapolated</th></tr>
<tr><th>Max (MPa)</th><td id="0max"></td><td id="1max"></td><td
id="2max"></td><td id="3max"></td><td id="4max"></td><td
id="5max"></td><td id="6max"></td><td id="7max"></td><td
id="emax"></td></tr>
<tr><th>Min (MPa)</th><td id="0min"></td><td id="1min"></td><td
id="2min"></td><td id="3min"></td><td id="4min"></td><td
id="5min"></td><td id="6min"></td><td id="7min"></td><td
id="emin"></td></tr>
</table>

```

3(7)

```

<p id="showdata">
<a href="#stress_ranges" class="rangeLink">Show stress values</a>

</p>

<div style="display:none">
  <div style='height:800px;width:1000px' id="stress_ranges"></div>

</div>

<script type="text/javascript">
  // Määritetään globaalit muuttujat

  // Jännityksien esiintymiskertojen välien lukumäärä
  var num_of_ranges = 200;

  var g;
  var handler = $("#graph");
  var graph_data = "";
  //var rainflow_data = [];
  var ranges = [];
  var max_value = (num_of_ranges * 10) / 2

  // Tiedostojen raahaus
  handler.live('dragenter', function (e)
  {
    $(this).css('background-color', '#90EE90');
    e.stopPropagation();
    e.preventDefault();
  });

  handler.live('dragover', function (e)
  {
    e.stopPropagation();
    e.preventDefault();
  });

  handler.live('dragend', function (e)
  {
    $(this).css('background-color', '#FFFFFF');
    e.stopPropagation();
    e.preventDefault();
  });

  handler.live('drop', function (e)
  {
    $(this).css('background-color', '#FFFFFF');
    e.preventDefault();
    var files = e.originalEvent.dataTransfer.files;

    // Tyhjennä vanha data
    graph_data = "";

    // Luo graafi jos sitä ei ole jo olemassa
    if (!g) {
      console.log("tehdään graafi");
      graph();
    }

    console.log("Tiedostojen määrä: ", files.length);
  }
  </script>

```

4(7)

```

// Käsitellään ensimmäinen tiedosto
    setupFile(files, 0);
});

// Käsittelen tiedoston
function setupFile(files, f)
{
    var file = files[f];
    var reader = new FileReader();

    reader.onload = function(e) {
        parseFile(e, files, f);
    }

    reader.readAsText(file)
}

// Käy tiedoston läpi
function parseFile(e, files, f) {
    console.log("Nykyinen tiedosto: ", files[f].name, "(", f + 1,
    ")");

    var textFile = e.target;

    // Ota tiedostosta data talteen
    graph_data += textFile.result;

    // Käsittelen seuraava tiedosto
    if (f < files.length - 1) {
        setupFile(files, f+1);
    } // Käsittelen data, jos tiedostoja ei ole enempää
    else {

        console.log("Käsitellään data!");

        // Näytä elementit
        document.getElementById("display").style.display =
"block";
        document.getElementById("minmax").style.display = "block";
        document.getElementById("showdata").style.display =
"block";

        // Muunnetaan tiedosto käsiteltäväksi taulukoksi
        csv_data = $.csv.toArrays(graph_data);

        // Poistetaan fixed-arvot

        for (var row = 0; row < csv_data.length; row++) {
            var data = csv_data[row];
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
            data.splice(9, 1);
        }

        // Määritetään ja alustetaan muuttujat

```

5(7)

```

var ch;
var min = [];
var max = [];

for (var x = 0; x <= 8; x++) {

    min[x] = Number.POSITIVE_INFINITY;
    max[x] = Number.NEGATIVE_INFINITY;
    ranges[x] = [];

    for (var y = 0; y < num_of_ranges; y++)
        ranges[x][y] = 0;

}

// Rivin muoto:
date,CH0,CH1,CH2,CH3,CH4,CH5,CH6,CH7,CH0_fixed,CH1_fixed,CH2_fixed,CH3
_fixed,CH4_fixed,CH5_fixed,CH6_fixed,CH7_fixed,extrapolated,error
//          0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
9,      10,      11,      12,      13,      14,      15,
16,      17,      18

// Käydään taulukkomuodossa oleva data rivi ja sarake ker-
rallaan
for (i = 0; i < csv_data.length; i++) {
    // Poistetaan otsikot
    if (csv_data[i][0] == "date") {
        console.log("date");
        csv_data.splice(i, 1);
        i--;

        continue;
    }

    // Muunnetaan ajat Dateiksi
    csv_data[i][0] = new Date(csv_data[i][0]);

    // Nyt halutaan laskea minmax ja esiintymiskerrat vain
väliltä CH0_fixed (9) - extrapolated (17)
    // EDIT: väliltä 1-9 (fixed-arvot poistettu)
    for (j = 1; j <= 9; j++) {
        val = Number(csv_data[i][j]);

        // Etsii minimi ja maksimi
        if (val < min[j - 1]) { min[j - 1] = val; }
        if (val > max[j - 1]) { max[j - 1] = val; }

        // Etsii esiintymiskerrat
        if (Math.abs(val) <= max_value)
            ranges[j - 1][((Math.floor(val / 10) * 10) +
max_value) / 10] += 1;
    }
}

// Päivitä minimi ja maksimi
document.getElementById("0max").innerHTML = max[0];
document.getElementById("1max").innerHTML = max[1];
document.getElementById("2max").innerHTML = max[2];
document.getElementById("3max").innerHTML = max[3];
document.getElementById("4max").innerHTML = max[4];
document.getElementById("5max").innerHTML = max[5];
document.getElementById("6max").innerHTML = max[6];

```

6(7)

```

document.getElementById("7max").innerHTML = max[7];
document.getElementById("emax").innerHTML = max[8];

document.getElementById("0min").innerHTML = min[0];
document.getElementById("1min").innerHTML = min[1];
document.getElementById("2min").innerHTML = min[2];

document.getElementById("3min").innerHTML = min[3];
document.getElementById("4min").innerHTML = min[4];
document.getElementById("5min").innerHTML = min[5];
document.getElementById("6min").innerHTML = min[6];
document.getElementById("7min").innerHTML = min[7];
document.getElementById("emin").innerHTML = min[8];

// Debug
console.log(min);
console.log(max);
console.log(ranges);

// Päivittää graafin datan

console.log(csv_data);

g.updateOptions({'file': csv_data});

// Määritellään käyrien alkunäkyvyydet
g.setVisibility(0, false);
g.setVisibility(1, false);
g.setVisibility(2, false);
g.setVisibility(3, false);
g.setVisibility(4, false);
g.setVisibility(5, false);
g.setVisibility(6, false);
g.setVisibility(7, false);
g.setVisibility(8, false);
g.setVisibility(9, false);

document.getElementById("0").checked = false;
document.getElementById("1").checked = false;
document.getElementById("2").checked = false;
document.getElementById("3").checked = false;
document.getElementById("4").checked = false;
document.getElementById("5").checked = false;
document.getElementById("6").checked = false;
document.getElementById("7").checked = false;
document.getElementById("8").checked = false;
document.getElementById("9").checked = false;
    }
}

// Luo graafin
function graph()
{
    g = new Dygraph(
        document.getElementById("graph"),
        "",
        {
            title: "Measurement",
            ylabel: "MPa",
            digitsAfterDecimal: 2,
            //rollPeriod: 10,

```

7(7)

```

        //showRoller: false,
        errorBars: false,
        stepPlot: true, // step plot or line plot
        labels:
["time", "CH0", "CH1", "CH2", "CH3", "CH4", "CH5", "CH6", "CH7", "extrapolated", "
error"]

        //yRangePad: 0

        //interactionModel: {}
    }
    );

    console.log("graafi luotu");
}

// Vaihtaa käyrän näkyvyyden

function change(el) {
    g.setVisibility(el.id, el.checked);
}

// Tekee jännityksien esiintymiskerroista HTML-taulukon
function drawRanges() {
    var data = "";
    data += '<table
id="ranges_header"><tr><td>&nbsp;</td><th>CH0</th><th>CH1</th><th>CH2<
/th><th>CH3</th>' +

'<th>CH4</th><th>CH5</th><th>CH6</th><th>CH7</th><th>extrapolated</th>
</tr></table>';

    data += '<div id="ranges_wrapper"><table id="ranges"><tr>'

    for (j = 0; j < num_of_ranges; j++) {
        data += "<tr><th>" + ((j * 10) - max_value) + " - " +
((j+1) * 10) - max_value) + " MPa</th>";

        for (i = 0; i <= 8; i++) {
            data += "<td>" + ranges[i][j] + "</td>";
        }
        data += "</tr>";
    }

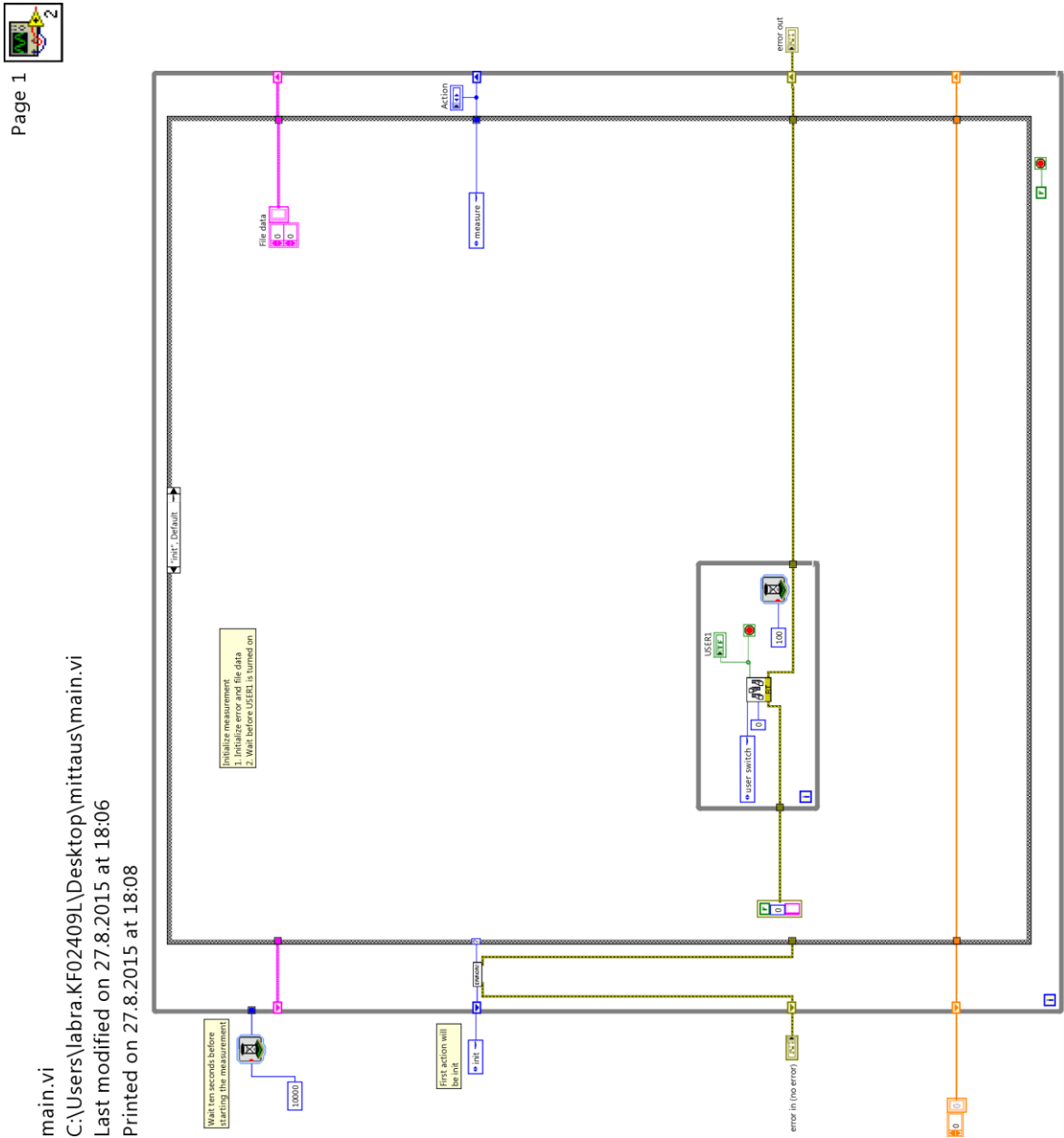
    data += "</table></div>";

    document.getElementById("stress_ranges").innerHTML = data;
}

$(document).ready(function() {
    // Näyttää esiintymiskerrat klikatessa
    $(".rangeLink").fancybox({
        closeClick : false, // Estää sulkemisen painettaessa ikku-
nan sisältä
        onComplete: function() { drawRanges(); }
    });
});
</script>
</body>
</html>

```


Liite 2. Labview-ohjelman eri tiloja

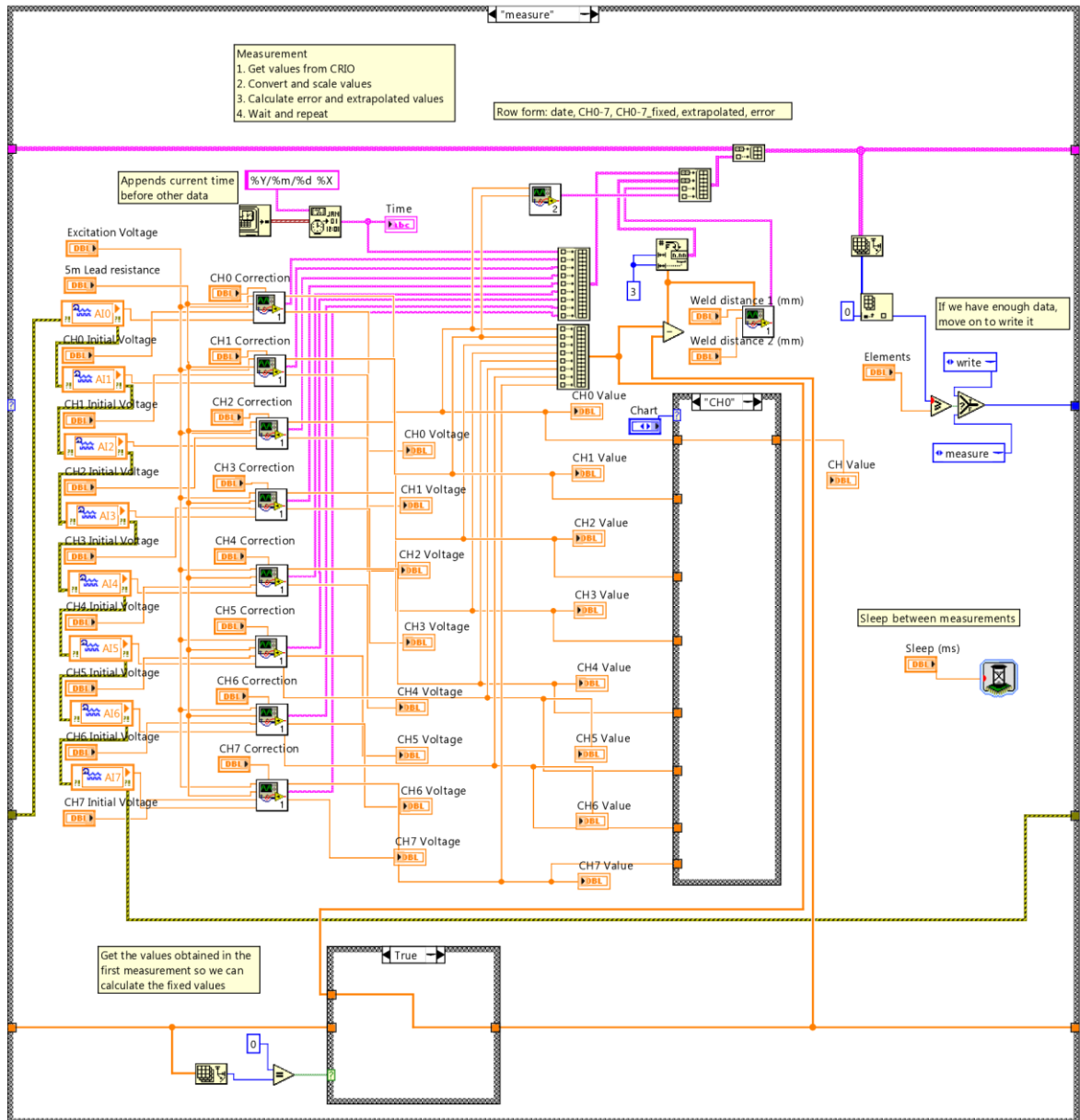


main.vi

C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\main.vi

Last modified on 27.8.2015 at 18:06

Printed on 27.8.2015 at 18:08

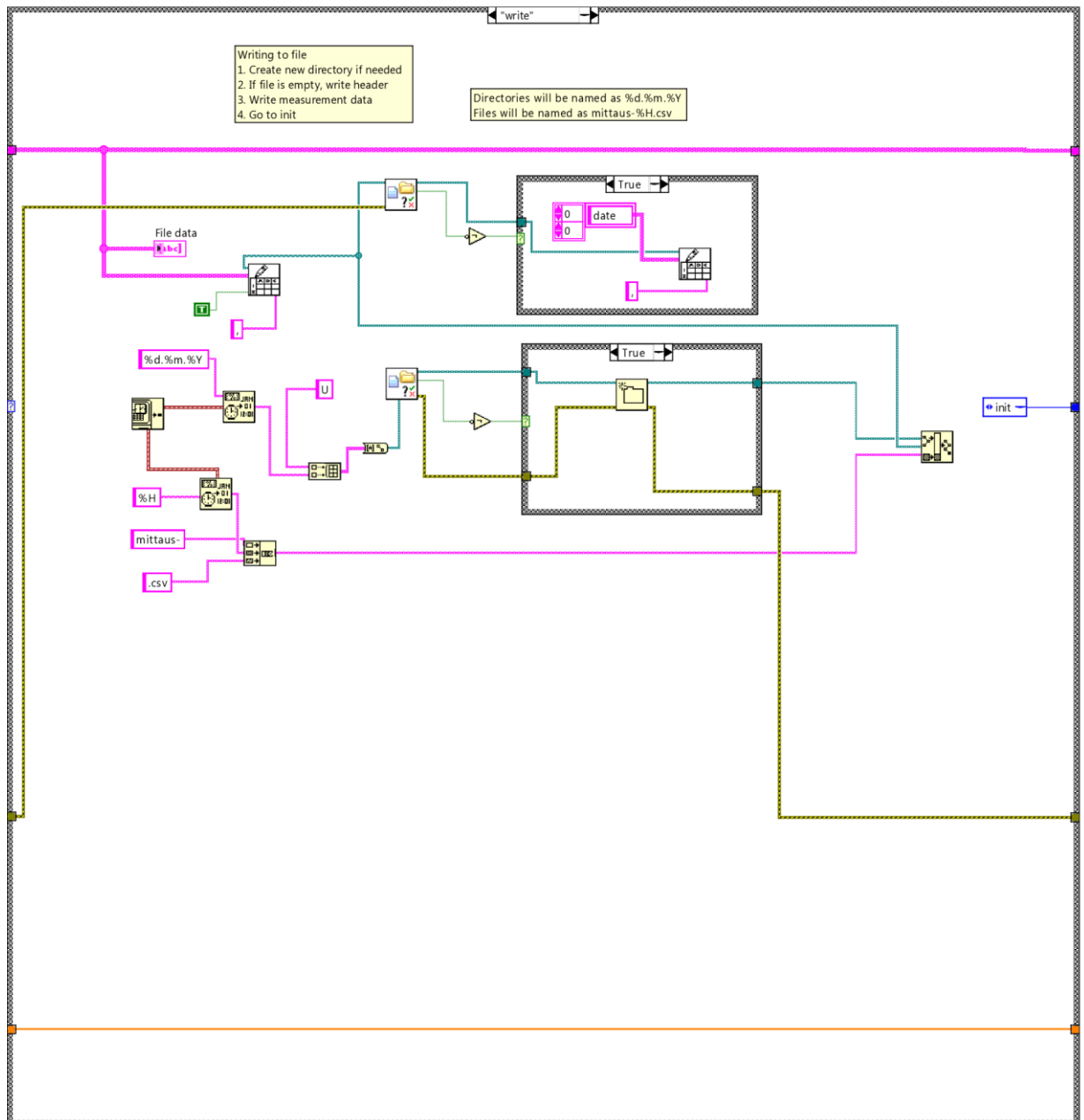


main.vi

C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\main.vi

Last modified on 27.8.2015 at 18:06

Printed on 27.8.2015 at 18:08

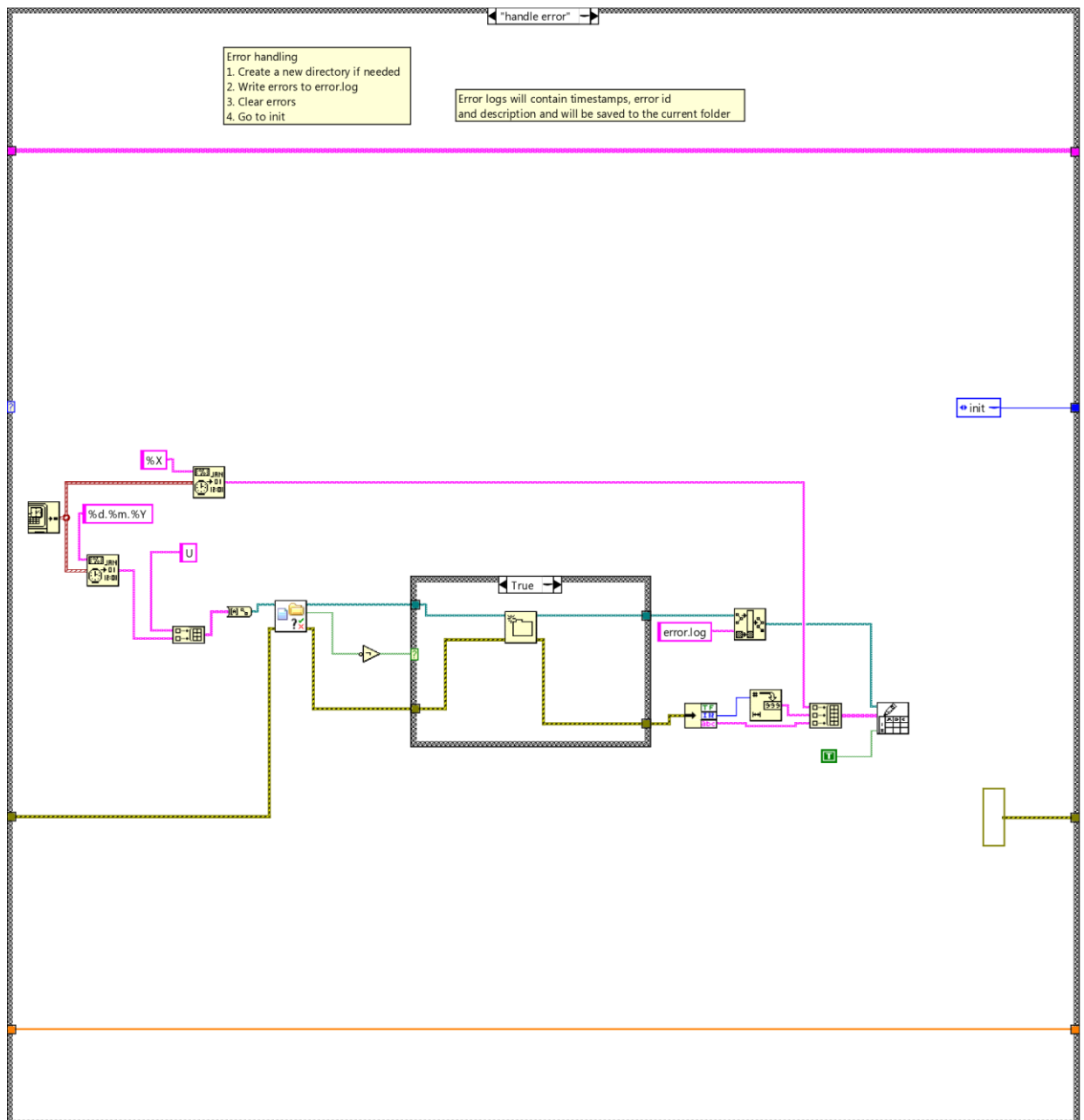


main.vi

C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\main.vi

Last modified on 27.8.2015 at 18:06

Printed on 27.8.2015 at 18:08

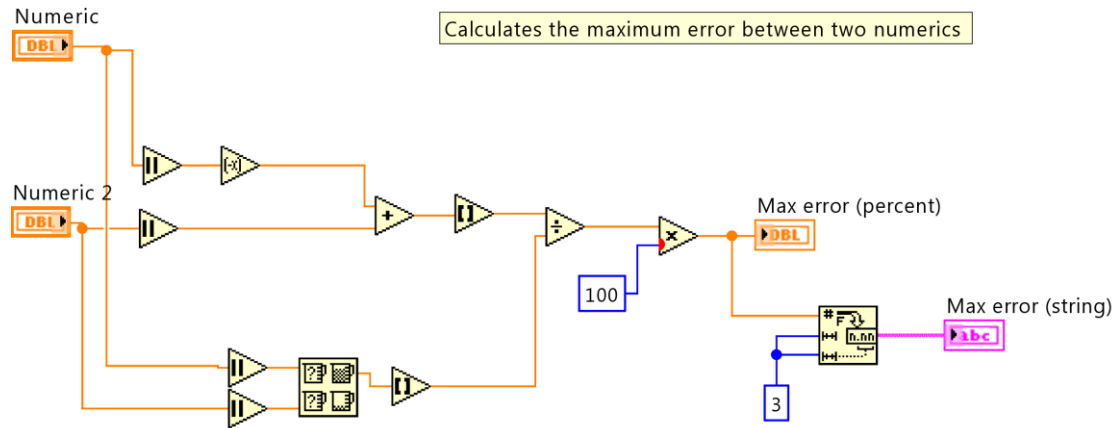


max_error.vi

C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\max_error.vi

Last modified on 29.8.2015 at 16:11

Printed on 29.8.2015 at 16:46

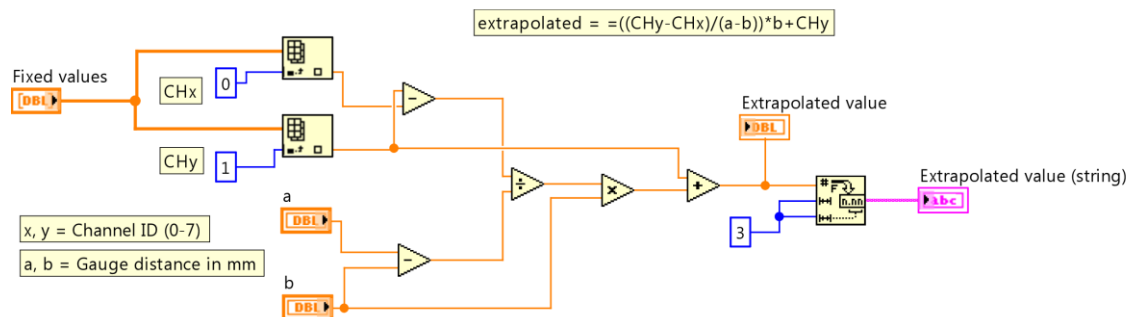


extrapolated_stress.vi

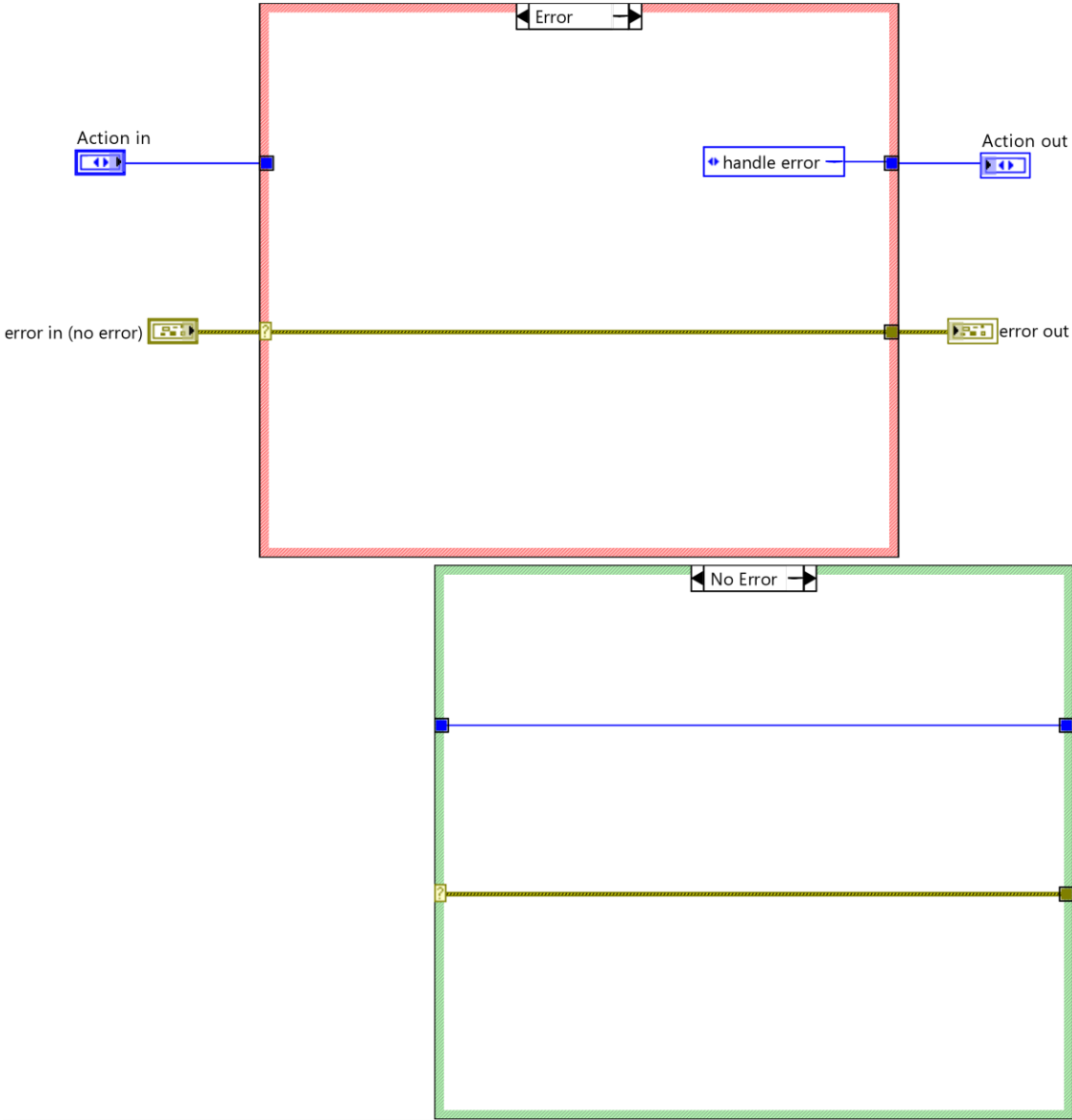
C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\extrapolated_stress.vi

Last modified on 29.8.2015 at 16:23

Printed on 29.8.2015 at 16:46



check_error.vi
C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\check_error.vi
Last modified on 29.8.2015 at 16:37
Printed on 29.8.2015 at 16:47



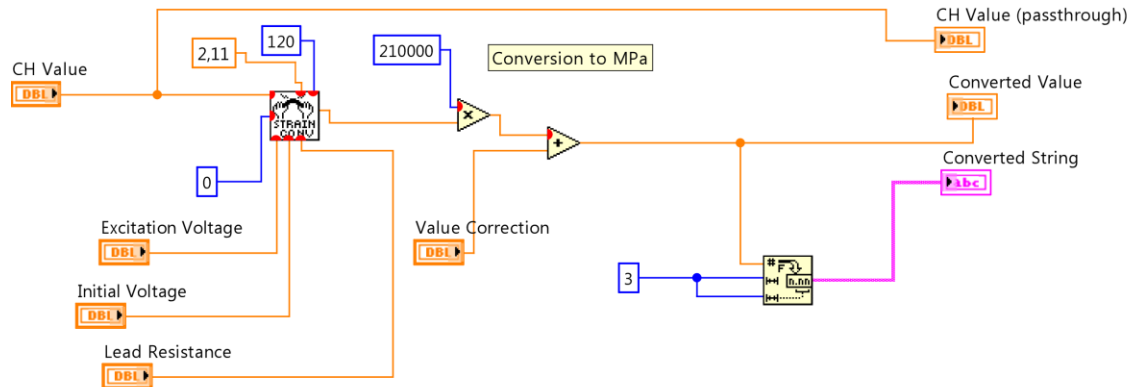


convert_volts.vi

C:\Users\labra.KF02409L\Desktop\mittaus\convert_volts.vi

Last modified on 29.8.2015 at 16:07

Printed on 29.8.2015 at 16:46



Liite 3. Shunt-kalibrointi sekä mittaukset eri herätejännitteillä.

Excitation voltage: 1V

kΩ	Ω	MPa	ABS(Mpa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-1232,35	1232,35	0,005868	0,005646527	0,00022181	1185,770751	46,57924901	3,779709418
68,6	68600	-179,825	179,825	0,000856	0,000831532	0,00002478	174,6216531	5,203346915	2,893561471
82	82000	-165,589	165,589	0,000789	0,000695846	0,00009267	146,1276181	19,46138188	11,75282288
100	100000	-125,508	125,508	0,000598	0,000570744	0,00002691	119,8561726	5,651827407	4,503161079
120	120000	-104,289	104,289	0,000497	0,000475715	0,00002090	99,9000999	4,3889001	4,208401749
220	220000	-57,679	57,679	0,000275	0,000259599	0,00001506	54,5157187	3,163281301	5,484285964

Excitation voltage: 2V

kΩ	Ω	MPa	ABS(MPa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-619,689	619,689	0,002951	0,005646527	0,00269563	1185,770751	566,081751	47,739561
68,6	68600	-95,1462	95,1462	0,000453	0,000831532	0,00037845	174,6216531	79,47545308	45,5129428
82	82000	-76,0759	76,0759	0,000362	0,000695846	0,00033358	146,1276181	70,05171812	47,93872577
100	100000	-62,545	62,545	0,000298	0,000570744	0,00027291	119,8561726	57,31117259	47,81662167
120	120000	-52,4066	52,4066	0,00025	0,000475715	0,00022616	99,9000999	47,4934999	47,5409934
220	220000	-37,4665	37,4665	0,000178	0,000259599	0,00008119	54,5157187	17,0492187	31,27395017

Excitation voltage: 3V

kΩ	Ω	MPa	ABS(MPa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-413,52	413,52	0,001969	0,005646527	0,00367738	1185,770751	772,250751	65,12648
68,6	68600	-62,9714	62,9714	0,0003	0,000831532	0,00053167	174,6216531	111,6502531	63,93837827
82	82000	-51,0104	51,0104	0,000243	0,000695846	0,00045294	146,1276181	95,11721812	65,09188293
100	100000	-44,0976	44,0976	0,00021	0,000570744	0,00036076	119,8561726	75,75857259	63,2079024
120	120000	-36,0315	36,0315	0,000172	0,000475715	0,00030414	99,9000999	63,8685999	63,9324685
220	220000	-20,1062	20,1062	9,57E-05	0,000259599	0,00016385	54,5157187	34,4095187	63,11852713

Excitation voltage: 0V

kΩ	Ω	MPa	ABS(MPa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-373,545	373,545	0,001779	0,005646527	0,00386774	1185,770751	812,225751	68,497705
68,6	68600	-56,0902	56,0902	0,000267	0,000831532	0,00056444	174,6216531	118,5314531	67,87901213
82	82000	-46,9241	46,9241	0,000223	0,000695846	0,00047240	146,1276181	99,20351812	67,88827423
100	100000	-38,1776	38,1776	0,000182	0,000570744	0,00038895	119,8561726	81,67857259	68,14715573
120	120000	-32,926	32,926	0,000157	0,000475715	0,00031892	99,9000999	66,9740999	67,041074
220	220000	-18,5515	18,5515	8,83E-05	0,000259599	0,00017126	54,5157187	35,9642187	65,97036517

Mittaus koekappaleen kanssa**Excitation voltage: 1 V**

kΩ	Ω	MPa	ABS(MPa)	ε	oikea ε	ero (ε)	oikea MPa	ero (MPa)	virhe (%)
10	10000	-1233,33	1233,33	0,005873	0,005646527	0,00022647	1185,770751	47,55924901	3,856165747
68,6	68600	-180,644	180,644	0,00086	0,000831532	0,00002868	174,6216531	6,022346915	3,333820617
82	82000	-150,545	150,545	0,000717	0,000695846	0,00002104	146,1276181	4,41738188	2,934260108
100	100000	-123,537	123,537	0,000588	0,000570744	0,00001753	119,8561726	3,680827407	2,979534396
120	120000	-103,086	103,086	0,000491	0,000475715	0,00001517	99,9000999	3,1859001	3,090526454
220	220000	-54,6329	54,6329	0,00026	0,000259599	0,00000056	54,5157187	0,117181301	0,214488525

